

**Method and apparatus for the control of an electromotor**

Patent Number: ☐ EP0708521, B1  
Publication date: 1996-04-24  
Inventor(s): MONLEONE RICCARDO ING (CH)  
Applicant(s): AGIE AG IND ELEKTRONIK (CH)  
Requested Patent: ☐ DE4437793  
Application Number: EP19950115328 19950927  
Priority Number(s): DE19944437793 19941021  
IPC Classification: H02P6/00  
EC Classification: H02P6/16, H02P6/20  
Equivalents: CN1063886B, CN1127954, JP3174258B2, ☐ JP8214600  
Cited patent(s): US4743815; DE3812638; EP0073503

---

**Abstract**

---

The motor control system determines the absolute phase position of the rotor relative to the stator, e.g. upon switching in, by energising the rotor for one or movements and measuring the actual phase position variations. Pref. the motor is energised using a sinusoidal or trapezoidal current waveform, the phase position variation of the rotor measured via an incremental optical measuring system (6). The absolute phase position is determined in coarse and fine evaluation stages, the latter employing a binary evaluation mode.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 07 390 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**H 02 K 29/06**  
H 02 P 6/00

②1 Aktenzeichen: P 44 07 390.9  
②2 Anmeldetag: 5. 3. 94  
④3 Offenlegungstag: 14. 9. 95

DE 44 07 390 A 1

⑦1 Anmelder:  
Grundig AG, 90762 Fürth, DE

⑦2 Erfinder:  
Hentschke, Bernd, Dipl.-Ing., 31840 Hessisch  
Oldendorf, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren für den Anlauf und die Kommutierung bei Synchronmaschinen

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren für die Anlaufphase und die Kommutierung in Synchronmaschinen mit einem Rotor, der mit einer räumlich festen Magnetisierung versehen ist, einem Stator mit Drehstromwicklung und einem Inkrementalgeber mit einem Referenzpulssignal zur Lageregelung.

Ein derartiges Verfahren soll in der Weise verbessert werden, daß für die Anlaufphase und die Kommutierung in Synchronmaschinen keine zusätzlichen Gebereinrichtungen für die Kommutierung benötigt werden.

Dies wird erreicht, indem bei Einschalten der Synchronmaschine eine Testanregung vorgenommen wird, bei der die Drehstromwicklung nacheinander mit verschiedenphasigen Strömen beaufschlagt wird und das dabei maximal erreichte Drehmoment direkt oder indirekt bestimmt wird und die Phase für die Statorströme zu Beginn der ersten Umdrehung der Synchronmaschine angibt. Bis zum Erkennen des Referenzpulssignals wird die Phase der Statorströme durch Bestimmung der relativen Lage des Rotors zum Stator vorgegeben.

Nach Auswertung des Referenzpulssignals wird die absolute Lage des Rotors bestimmt und die mit der absoluten Lage umlaufende Phase der Statorströme wird aus der absoluten Lage des Rotors und einem für die Synchronmaschine vorgegebenen Offsetwinkel der Magnetisierungsrichtung des Rotors bestimmt.

DE 44 07 390 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für den Anlauf und die Kommutierung bei Synchronmaschinen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei Synchronmaschinen wird der Rotor mit einer räumlich festen Magnetisierung versehen. Diese Magnetisierung wird entweder durch einen Strom in einer Erregerwicklung oder mittels Permanentmagneten vorgegeben.

Der Rotor einer zweipoligen Maschine ist dabei so magnetisiert, daß jeweils ein positiver und ein negativer Pol entsteht, wobei diese Pole gegenüberliegend angeordnet sind. Bei mehrpoligen Maschinen, d. h. bei Polpaarzahlen größer eins wiederholen sich die Verhältnisse entsprechend.

Der Stator enthält beispielsweise eine dreiphasige, symmetrische Drehstromwicklung, in die von der Regelung und dem Leistungsteil der Synchronmaschine Ströme mit jeweils 120° Phasenverschiebung eingeprägt werden, wie dies in Fig. 2 für eine zweipolige Maschine dargestellt ist.

Die Summe der drei Ströme  $i_1$ ,  $i_2$  und  $i_3$  führt zu einer Stromdichte im Stator 1, die einmal positives und auf der gegenüberliegenden Seite negatives Vorzeichen hat.

Das durch die Stromdichte und die magnetische Flußdichte B erzeugte Drehmoment M ist dann maximal, wenn ein Magnetpol und ein unipolarer Stromdichtebereich übereinander liegen, wie in Fig. 2a dargestellt.

Das erzeugte Drehmoment ist gleich Null, wenn jeweils die Hälfte des negativen und positiven Poles des Rotors 2 in einem unipolaren Stromdichtebereich des Stators 1 liegen, wie in Fig. 2b dargestellt.

Um das erzeugte Drehmoment auch bei Rotordrehung maximal zu halten, ist es erforderlich, die Phase der Statorströme nachzuregeln, um zu jedem Zeitpunkt eine Konstellation der magnetischen Flußdichte B im Rotor 2 zu der Stromdichte im Stator 1 wie in Fig. 2a dargestellt zu erreichen bzw. annähernd zu erreichen.

Zur Bestimmung der Phase der Statorströme ist es bekannt, die absolute Lage des Rotors im Stator zu bestimmen und aus dieser Rotorlage die Phase der Statorströme zur Erreichung des maximalen Drehmoments zu ermitteln.

Zur Erfassung der Lage des Rotors für die Kommutierung, d. h. die Nachführung der Phase der Ströme im Stator, ist es bekannt, sogenannte 6-Step-Geber vorzusehen, bei denen 6 Winkelbereiche des Rotors absolut festgelegt werden. Entsprechend dem Winkelbereich, in dem sich der Rotor befindet, wird die Phase der Statorströme weitergeschaltet.

Eine andere Möglichkeit zur Kommutierung ist durch den Einsatz von Resolvern gegeben. Der Resolver ist ein Drehmelder, der in seinem Aufbau einem kleinen Synchronmotor ähnelt. Der Resolver weist einen zweipoligen Rotor mit einer Wicklung und einen Stator mit zwei, um 90° gegeneinander versetzten Wicklungen auf. Die Statorwicklungen werden mit jeweils der gleichen Sinusspannung, jedoch gegeneinander um 180° versetzt erregt. Im Rotor wird dadurch eine sinusförmige Meßspannung induziert. Diese Meßspannung weist einen Phasenverschiebungswinkel gegenüber einer der beiden Statorwicklungen auf, die dem Auslenkungswinkel der Rotorachse gegenüber dem Stator entspricht und gibt somit die Lage des Rotors im Stator an. Das erhaltene Signal wird für die Kommutierung ausgewertet.

Diese bekannten Verfahren weisen den Vorteil auf,

daß mit einfachen Mitteln die Phasenweitschaltung, d. h. die Kommutierung der Statorströme erreicht wird, wobei die Auflösung für die Kommutierung ausreichend ist. Der Nachteil dieser Verfahren besteht jedoch darin, daß für die Kommutierung eine separate Meßanordnung notwendig ist, die zusätzlichen Platz beansprucht, was sich insbesondere bei Synchronmaschinen für kleinere Leistungen nachteilig auswirkt.

Eine gewisse Verbesserung in dieser Hinsicht ist durch den Einsatz von Inkrementalgebern gegeben, die zur Lageregelung eingesetzt werden und über zwei zusätzliche Kommutierungsspannen verfügen, die jeweils ein Sinus- und ein Cosinus-Signal pro Rotorumdrehung erzeugen. Durch die Division der Pegel beider Spannen und die Bildung des Arcustangens wird ein Signal gebildet, das der Rotorlage entspricht und das als Grundlage für die Nachregelung der Phase der Statorströme der Synchronmaschine verwendet wird.

Auch in diesem Fall kommen zwei Gebersysteme zur Anwendung, die zur Lageregelung und zur Kommutierung verwendet werden und eigene Anschlußvorrichtungen benötigen.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht deshalb darin, ein Verfahren für die Anlaufphase und die Kommutierung in Synchronmaschinen anzugeben, das ohne zusätzliche Gebereinrichtungen für die Kommutierung angewendet werden kann.

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem gattungsgemäßen Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhaft Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Gemäß der Erfindung werden beim Einschalten der Synchronmaschine Testanregungen vorgenommen, bei denen die Drehstromwicklungen nacheinander mit verschiedenphasigen Strömen beaufschlagt werden und das dabei maximal erreichte Drehmoment direkt oder indirekt bestimmt wird. Aus diesem maximalen Drehmoment wird die Phase für die Statorströme zu Beginn der ersten Umdrehung der Synchronmaschine bestimmt. Die Phase der Statorströme, bei der maximales Drehmoment bei den Testanregungen auftritt, bildet also den Kommutierungswinkel für die Synchronmaschine bis zum Auftreten des Referenzpulses. Bis zum Erkennen dieses Referenzpuls-signalen wird die Phase der Statorströme, also der Kommutierungswinkel, durch Bestimmung der relativen Lage des Rotors zum Stator vorgegeben. Nach Auswertung des Referenzpuls-signalen wird die absolute Lage des Rotors bestimmt und die mit der absoluten Lage umlaufende Phase der Statorströme wird aus der absoluten Lage des Rotors und einem für die Synchronmaschine vorgegebenen Offsetwinkel der Magnetisierungsrichtung des Rotors bestimmt.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren erübrigen sich weitere Geber, die bei den bekannten Verfahren zur Kommutierung eingesetzt werden. Damit verringert sich auch die Zahl der Anschlüsse für die Weiterleitung der Signale. Da das erfindungsgemäße Verfahren einen ohnehin vorhandenen Inkrementalgeber mit Referenzpuls auch zur Kommutierung nutzt, ergeben sich nicht nur die Vorteile einer möglichen Verkleinerung der Synchronmaschine, sondern zusätzliche Kostenvorteile durch die Einsparung eines weiteren Gebersystems.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die Testanregung bei Einschalten der Synchronmaschine mit vier verschiedenen Phasenlagen für

die Statorströme ausgeführt. Diese Phasenlagen sind im Bereich von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  gleichmäßig verteilt. Für den Fall, daß ein positives maximales Drehmoment bestimmt wird, wird die sich daraus ergebende Phasenlage ausgewählt. Bei negativem maximalem Drehmoment werden zu dieser Phasenlage noch  $180^\circ$  addiert.

Auf diese Weise kann mit einer kurzen Testanregung mit vier verschiedenphasigen Statorströmen die Phasenlage in acht mögliche Bereiche unterteilt werden, von denen der günstigste ausgewählt wird.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß bei der Testanregung die Amplitude der Statorströme so gewählt wird, daß ein Drehmoment erzeugt wird, das den Rotor zwar auslenkt, nicht aber in Bewegung versetzt. Bei dieser Form der Testanregung wird das maximale Drehmoment bestimmt, indem die maximale Auslenkung des Rotors gemessen wird.

Eine andere vorteilhafte Ausführung der Erfindung sieht vor, daß durch die Amplitude der Statorströme ein Drehmoment erzeugt wird, bei dem der Rotor in Drehung versetzt wird. In diesem Fall wird die Drehzahl-  
differenz zwischen dem Beginn und dem Ende eines Testzyklus mit der jeweiligen Phasenlage des Statorstromes gemessen, um das maximale Drehmoment zu bestimmen.

Es hat sich weiterhin als vorteilhaft erwiesen, einen Inkrementalgeber zu verwenden, der zwei Spuren aufweist und somit für jedes Inkrement ein Sinus- und ein Cosinus-Signal erzeugt. Mit einem derartigen Inkrementalgeber kann zum einen die Drehrichtung erkannt werden, zum anderen wird die Auflösung des Inkrementalgebers erhöht, indem die Pegel beider Spuren (Sinusspur und Cosinusspur) dividiert und der Arcustangens gebildet wird. Es kann also auch die Position zwischen zwei Strichinkrementen bestimmt werden, was zu der höheren Auflösung führt.

Im folgenden wird die Erfindung an Hand eines Ausführungsbeispiels nach Fig. 1 beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1a ein Diagramm für den Testablauf mit Lageauswertung,

Fig. 1b ein Diagramm für den Testablauf mit Drehzahl-  
auswertung,

Fig. 2 die Lage des Rotors im Stator einer Synchronmaschine bei maximalem und minimalem Drehmoment.

Gemäß Fig. 1a ist die Testanregung TA in 8 Testabschnitte entsprechend der ersten Diagrammzeile eingeteilt. Die Testanregung wird mit vier verschiedenen Testphasen TP für die Drehstromwicklung des Stators vorgenommen. Im vorliegenden Beispiel wird mit den Phasen  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $135^\circ$  angeregt. Für jede Testphase wird ein positives und ein negatives Solldrehmoment MT ausgegeben, so daß für die Anregung mit einer Testphase jeweils zwei Testabschnitte benötigt werden. In der vierten Zeile des Diagramms nach Fig. 1a ist die Lage L des Rotors während der jeweiligen Testabschnitte dargestellt. Die letzte Zeile des Diagramms gibt die Drehzahl D an.

Bei der Testanregung, wie sie in Fig. 1a dargestellt ist, erfolgt die Anregung mit einem Drehmoment, bei dem der Rotor nur ausgelenkt, nicht aber in eine Drehbewegung versetzt wird. Zur Bestimmung des maximalen Drehmomentes werden die Lagedifferenzen zwischen zwei Testanregungen mit positivem und negativem Drehmoment MT bei gleichem Phasenwinkel TP der Drehströme bestimmt. So wird beispielsweise die Reaktion für die Testphase  $90^\circ$  bestimmt, indem die Differenz aus der Lage L des Rotors am Ende des Testab-

schnittes 5 und des Testabschnittes 6 gebildet wird. Am Ende der Testanregung führt die größte Lagedifferenz zum optimalen Phasenwinkel für die Statorströme.

In dem Fall, daß die maximale Lagedifferenz einen negativen Wert hat, sind zum optimalen Phasenwinkel noch  $180^\circ$  zu addieren.

In der Fig. 1a ist ergänzend noch der Verlauf der Drehzahl, der durch Differentiation des Lageverlaufes L gewonnen werden kann, dargestellt. Der Drehzahlverlauf zeigt, daß bei Beginn der Testabschnitte, bei denen ein Drehmoment erzeugt wird, die Drehzahl schnell (in positiver oder negativer Richtung) ansteigt und dann gegen Ende des Testabschnittes, bei Erreichen der für den Testabschnitt maximalen Auslenkung, gegen Null geht.

Die Fig. 1b zeigt ein Diagramm, das im Aufbau dem nach Fig. 1a entspricht, für den Fall, daß die Synchronmaschine vollkommen leer läuft und somit der Rotor in Drehung versetzt wird. In diesem Fall wird nicht mehr die Lage des Rotors, sondern die Drehzahl ausgewertet, indem die Drehzahl-  
differenz zwischen dem Ende und dem Anfang der einzelnen Testabschnitte ausgewertet wird. Da es sich hier um Beschleunigungsvorgänge handelt, werden keine stationären Endwerte erreicht. Während bei der Anregung mit positivem Drehmoment MT in den Testabschnitten 1, 3, 5 und 7 sich die Drehzahl erhöht, bewirkt das negative Drehmoment in den Testabschnitten 2, 4, 6 und 8 ein Abbremsen der Bewegung, so daß am Ende der Testabschnitte die Drehzahl nahe Null geht.

Bei einer Testanregung mit vier verschiedenen Phasenlagen entsteht ein maximaler Fehler, wenn das tatsächliche Maximum der Drehmomentamplitude genau zwischen zwei Testwinkeln liegt. Die maximale Abweichung von der optimalen Phasenlage beträgt also  $22,5^\circ$ . Der Cosinus von  $22,5^\circ$  beträgt 0,92, so daß die Drehmomentreduzierung in diesem ungünstigsten Fall 8% beträgt. In der Anlaufphase, d. h. bis zur Bestimmung der absoluten Lage nach spätestens einer Umdrehung ist dieser Wert vernachlässigbar.

Im laufenden Betrieb, also nach Bestimmung der Absolutlage des Rotors durch Auswertung eines Referenzimpulses, erfolgt die Bestimmung der Phasenlage der Drehströme in Abhängigkeit der Rotorlage (Kommutierung) nach einer festen Beziehung. Der umlaufende Winkel für die Kommutierung wird gebildet aus einem fest vorgegebenen Offset-Winkel zwischen der absoluten Lage des Rotors und der Magnetisierungsrichtung des Rotors und der berechneten Lage des Rotors nach Auswertung des Referenzpulses.

#### Patentansprüche

1. Verfahren für die Anlaufphase und die Kommutierung in Synchronmaschinen mit einem Rotor, der mit einer räumlich festen Magnetisierung versehen ist, einem Stator mit Drehstromwicklung und einem Inkrementalgeber mit einem Referenzpulssignal zur Lageregelung und Hochauflösung der Lagebestimmung, dadurch gekennzeichnet, daß

— beim Einschalten der Synchronmaschine eine Testanregung vorgenommen wird, bei der die Drehstromwicklung nacheinander mit verschiedenphasigen Strömen beaufschlagt wird und das dabei maximal erreichte Drehmoment direkt oder indirekt bestimmt wird,

— aus dem maximalen Drehmoment die Phase für die Statorströme zu Beginn der ersten Um-

drehung der Synchronmaschine bestimmt wird,

— bis zum Erkennen des Referenzpulssignales die Phase der Statorströme durch Bestimmung der relativen Lage des Rotors zum Stator vorgegeben wird, und

— nach Auswertung des Referenzpulssignales die absolute Lage des Rotors bestimmt wird und die mit der absoluten Lage umlaufende Phase der Statorströme aus der absoluten Lage des Rotors und einem für die Synchronmaschine vorgegebenen Offsetwinkel der Magnetisierungsrichtung des Rotors bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Testanregung bei Einschalten der Synchronmaschine mit vier verschiedenen Phasenlagen für die Statorströme erfolgt, wobei diese Phasenlagen im Bereich von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  gleichmäßig verteilt sind und im Falle eines positiven maximalen Drehmomentes die entsprechende Phasenlage ausgewählt wird und im Falle eines negativen maximalen Drehmomentes zur entsprechenden Phasenlage noch  $180^\circ$  addiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Testanregung mit einer Amplitude der Statorströme durchgeführt wird, die ein Drehmoment erzeugt, bei dem der Rotor ausgelenkt wird, aber noch keine Bewegung einsetzt, und als Maß für das erzeugte Drehmoment die Auslenkung des Rotors bestimmt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Testanregung mit einer Amplitude der Statorströme durchgeführt wird, die ein Drehmoment erzeugt, bei dem der Rotor in Bewegung versetzt wird und als Maß für das erzeugte Drehmoment die Drehzahldifferenz zwischen dem Ende und dem Anfang eines Testzyklus mit einer Testphase bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Inkrementalgeber zwei um  $90^\circ$  verschobene Spuren aufweist, die für jedes Inkrement ein Sinus- und ein Cosinus-Signal erzeugen.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

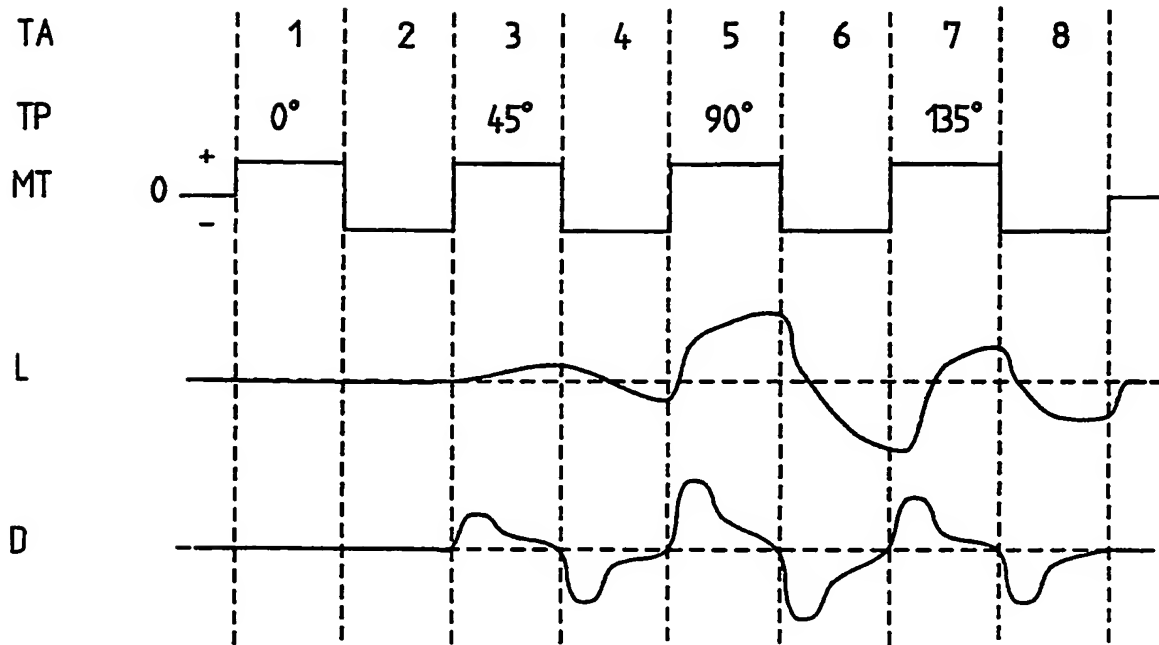


Fig 1a

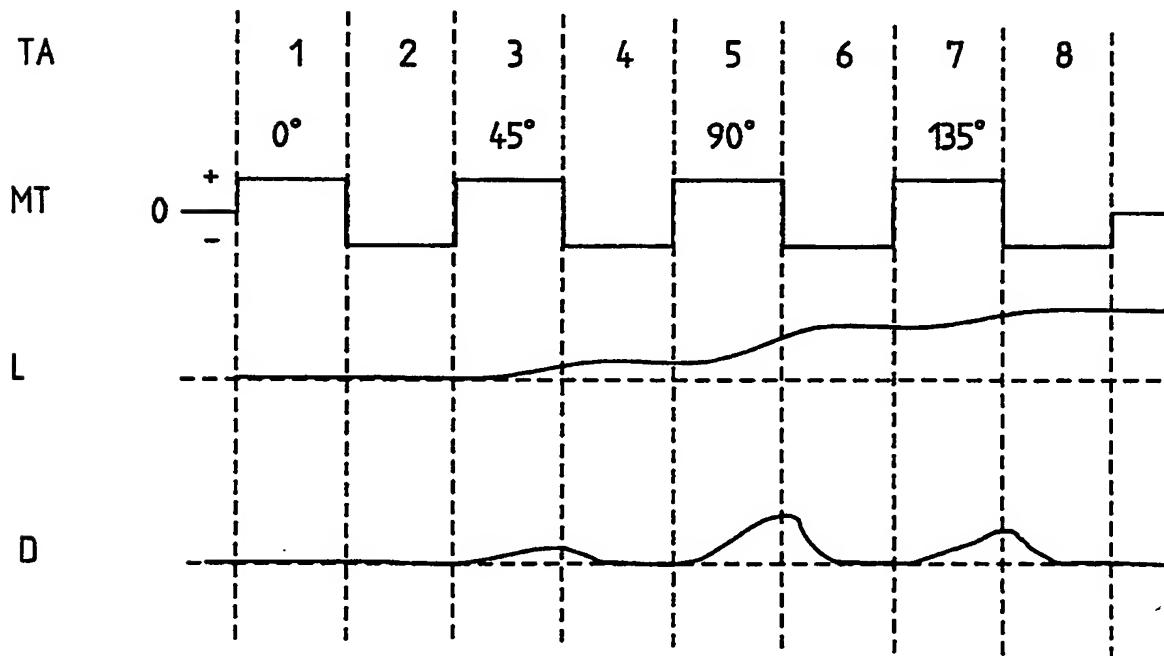
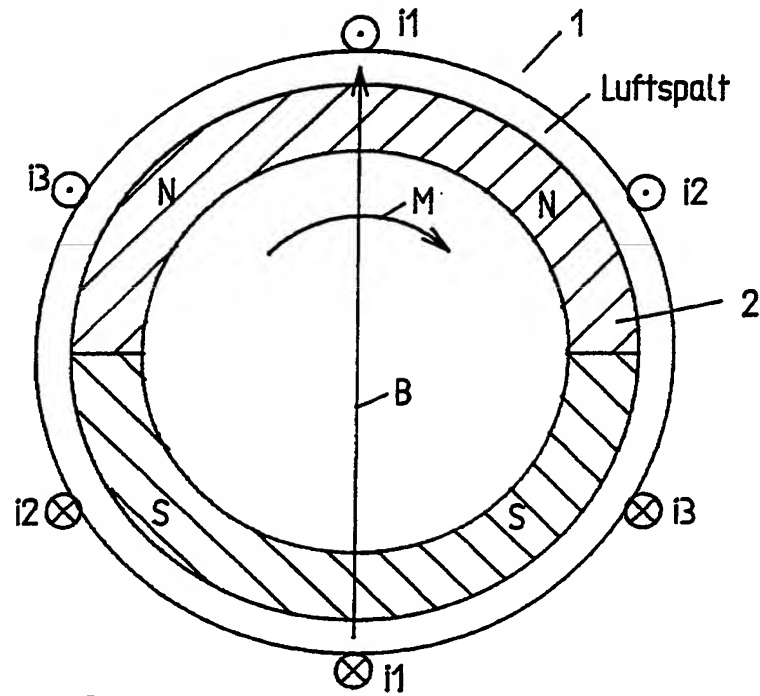
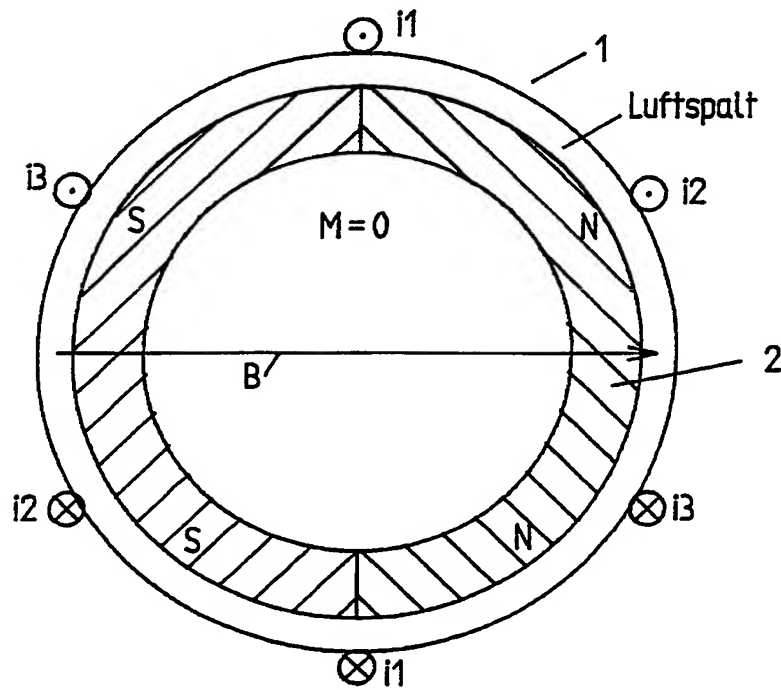


Fig 1b



Figur 2a



Figur 2b